

## 赤道西太平洋大气气溶胶分布与 热带天气的关系

朱翠娟

(国家气象局气象科学研究所)

周明煜

(国家海洋局海洋环境预报中心)

### 提 要

通过1985年至1987年TOGA试验,我们获得了不同热带环流条件与大气气溶胶分布之关系。在热带辐合带中,由于雨水的冲刷作用,可使气溶胶浓度值 $\leq 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,并且其分布与风速无关,而当无雨的时候,其浓度值可以比有雨时大一个量级。

在台风热带环流中,其气溶胶浓度分布在云雨带中是不均匀的。在台风雨带中,气溶胶浓度值 $< 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,而在台风干带中,其值 $> 100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

洋面上的大气气溶胶问题鉴于探测条件的限制,开展较为迟缓。1983年春天,美国国家大气海洋局的环境研究实验室对大西洋洋面大气的气溶胶分布状况作了探测和分析<sup>[1]</sup>。1984年2月起,他们又在太平洋海域作了3个多月的考察,从 $47^\circ\text{N}$ 、 $122^\circ\text{W}$ 向南行穿过赤道到达 $55^\circ\text{S}$ 、 $150^\circ\text{W}$ ,对气溶胶的浓度、尺度、源地、化学成份等进行了考察<sup>[2]</sup>,但对洋面大气环流结构和天气与大气气溶胶浓度分布的关系没有充分讨论。而在不同天气条件下气溶胶分布对云和降水过程,以及对太阳辐射的吸收和散射可能产生明显改变,以致导致对气候产生影响,这正是近代气象学中所重视的课题之一。

1985—1987年的中美热带海洋全球大气联合考察船,途经了多种典型的热带天气系统和环流结构,为我们研究热带环流与洋面气溶胶的关系提供了可贵的资料。

第一次航行从1985年11月至1986年2月,考察船由广州出发,沿着北回归线东行,直到夏威夷岛,再折向南,分别沿着 $165^\circ\text{W}$ 和 $165^\circ\text{E}$ 作二次剖面观测,之后再沿爪哇群岛,菲律宾群岛回到广州港,考察海域达 $5 \times 10^8 \text{km}^2$ 。

第二次航行是1986年11月至1987年2月由广州出发向东南行,在12月中旬到达赤道地区,并跨过赤道南行,在12月下旬到达澳大利亚南部港口悉尼,尔后北行,在一月中旬到达澳大利亚北部的卡奔塔尼亚湾,并在港湾内停留约一个月后起程回国。

在两次考察中,大气气溶胶用KB-120采样器采集。采样器安装在考察船前舱顶甲板

上的前沿,采样高度大约在海平面以上 15m 左右以避免船上烟囱排烟时对采样的影响。采样器采样时流量为 60—70L/min,采样时间一般为 6—8 小时,在采样期间如有降水,即刻关机,以免雨水对样品的污染。采样滤纸为 12 层新华滤纸,样品的总浓度由称重法获得,化学元素的含量由中子活化分析测定。

洋面气溶胶的分布与陆上有着许多不同<sup>[3]</sup>,在洋面上,海水气泡破裂过程和海浪破碎过程都对大气气溶胶浓度和成分有明显影响;同时,热带洋面大气环流的结构以及热带雨的分布与大气气溶胶浓度分布有着显著的相关。本文将讨论几种典型热带天气环流型下的大气气溶胶浓度分布特征。

### 1. 热带辐合带天气环流型

热带辐合带天气环流型是我们两次考察中所遇到的最主要的环流型,图 1 是该环流型的典型例子。由图可见在 10°S 附近,从 160°W 到 120°E 地区,有一条 WNW—ESE 走向

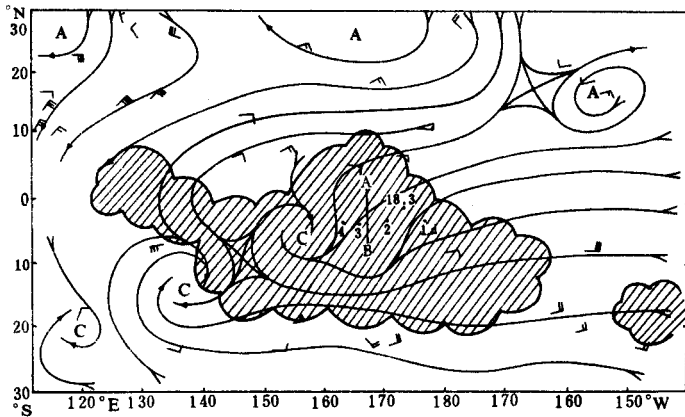


图 1 1986 年 1 月 16 日 20 时地面流场

(斜线区为雨区)

的辐合带,辐合带上雨区范围很宽,其南北跨度达 20 个纬度,考察船一直在辐合带北侧的雨区中西进。由于热带雨中降水在时间上具有明显的阵发性,因此,气溶胶的采样是在降雨的间歇时间进行的。航行中,共利用四次雨后间歇时间进行采样,测得的结果列在表 1 中。其中,1 月 16 日至 20 日的观测结果是在图 1 中测点 1,2,3,4 位置上测到的。2 月 2 日至 2 月 5 日考察船沿 165°E 附近从 5°N 向南行,穿过辐合带的宽厚雨区到达 4°S 进行第二次南北剖面观测,采样,观测位置为图 1 中的 AB 间。所得结果也列在表 1 中。由表 1 可见,气溶胶总浓度均很低,只有  $10^0 \sim 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,而且与风速没有什么相关。

图 2 给出的结果显示晴天无雨时 Na 元素的浓度与风速之间是指数增长关系,这与 Woodcoch<sup>[4]</sup>得到的结果是一致的。这是由于气溶胶中海洋元素主要来源于海浪破碎和海水中的气泡在海表面破裂时产生的微粒的缘故,因此海洋上气溶胶中海洋元素的含量与风速之间有一定的相关。然而表 1 中列出的海洋元素 Na、I 的含量与风速之间看不到明显的响应关系。看来雨水的冲刷作用对海洋上空的颗粒物起到一定的净化作用,以致改变了主要起源于海洋的元素与风速之间的关系。另外,地壳元素 Fe、Sc 和污染元素 Sb 的含量也很低。它们主要来源于大陆,除了在长距离输送过程中沉降以外,雨水的冲刷同样起了一

定的作用。

表 1 热带辐合带雨区中气溶胶浓度分布

日期	时间 (北京时)	经度	纬度	采样期间 风速(m/s)	总浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1986年 1月16日	2:40—14:50	176°E	0°	7.1	18.3
1月18日	2:50—14:50	165°E	0°	6.6	11.9
1月19日	4:00—14:10	165°E	0°	3.6	21.9
1月20日	4:00—14:00	162°E	0°	2.6	2.6
2月2日	5:20—9:20	165°E	5°N	7.9	10.7
2月2日	11:00—17:10	165°E	4°N	7.8	6.8
2月3日	3:30—14:10	165°E	2°N	8.1	14.7
2月4日	4:00—13:30	165°E	1.5°N	6.9	7.3
2月4日	13:30—17:30	165°E	2°S	7.7	7.5
2月5日	3:10—6:40	165°E	3°S	6.2	6.5

日期	元 素 含 量 ( $\text{g}/\text{m}^3$ )				
	Na	I	Fe	Sc	Sb
1986年 1月16日	$4.98 \times 10^{-6}$	$1.75 \times 10^{-9}$	$4.08 \times 10^{-8}$	$4.28 \times 10^{-12}$	$6.51 \times 10^{-11}$
1月18日	$3.88 \times 10^{-6}$	$4.14 \times 10^{-9}$	$4.01 \times 10^{-8}$	$4.62 \times 10^{-12}$	$1.06 \times 10^{-10}$
1月19日	$4.03 \times 10^{-6}$	$2.84 \times 10^{-9}$	$1.99 \times 10^{-8}$	$2.39 \times 10^{-12}$	$3.85 \times 10^{-11}$
1月20日	$1.68 \times 10^{-6}$	$2.13 \times 10^{-9}$	$2.89 \times 10^{-8}$	$3.23 \times 10^{-12}$	$4.7 \times 10^{-11}$
2月2日	$6.49 \times 10^{-6}$	$2.56 \times 10^{-9}$	$3.92 \times 10^{-8}$	$7.09 \times 10^{-12}$	$6.04 \times 10^{-11}$
2月2日	$2.64 \times 10^{-6}$	$3.4 \times 10^{-9}$	$2.04 \times 10^{-8}$	$3.84 \times 10^{-12}$	$3.77 \times 10^{-11}$
2月3日	$4.91 \times 10^{-6}$	$2.04 \times 10^{-9}$	$3.38 \times 10^{-8}$	$4.11 \times 10^{-12}$	$8.09 \times 10^{-11}$
2月4日	$3.51 \times 10^{-6}$	$1.29 \times 10^{-9}$	$2.29 \times 10^{-8}$	$3.16 \times 10^{-12}$	$3.15 \times 10^{-11}$
2月4日	$1.69 \times 10^{-6}$	$3.01 \times 10^{-9}$	$5.59 \times 10^{-8}$	$1.31 \times 10^{-12}$	$1.43 \times 10^{-11}$
2月5日	$3.30 \times 10^{-6}$	$1.66 \times 10^{-9}$	$3.98 \times 10^{-8}$	$6.72 \times 10^{-12}$	$3.03 \times 10^{-11}$

当热带辐合带中没有降水时,气溶胶的浓度比有降雨条件下大几倍,甚至一个量级。

图 3 为热带辐合带中无降雨时的典型例子,一条很强的辐合带由 20°S、180°向西北伸展到马尼拉上空,但辐合带上的雨区只分布在南段的 10°—20°S 的南迪岛附近以及北段的马尼拉东部海域,辐合带的中间部位虽辐合很强,但没有出现降水。在辐合带的这片无雨区中(9.6°N、164.2°E,即图中 A 的位置)的

采集结果表明,大气气溶胶的浓度可高达  $182\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,那时的风速为 7.3m/s,相应的元素含量都比表 1 中列出的高。热带辐合带中如此高浓度的气溶胶分布状况将为热带辐合带中云物理的研究和大气颗粒物的长距离输送问题的研究提供新的事实。

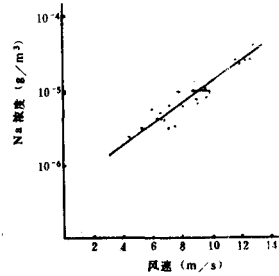


图 2 二次洋面气溶胶观测中无雨时 Na 元素浓度与风速相关图

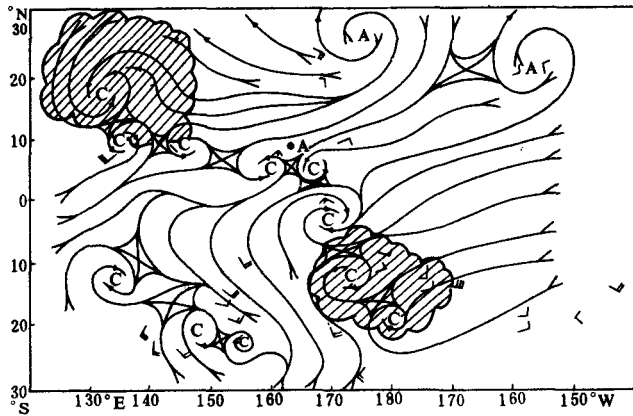


图3 1986年12月8日08时地面流场  
(斜线区为雨区)

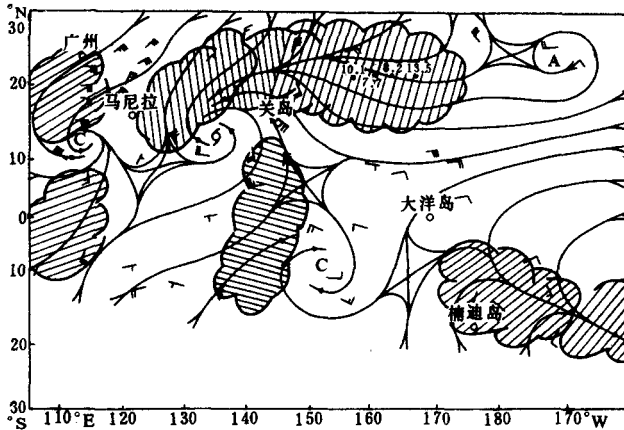


图4 1985年12月20日08时地面流场  
(斜线区为雨区)

### 2. 台风环流型

1985年12月20日考察船到达160°E附近的时候,正遇到台风雨带,台风中心位置在科罗尔岛和关岛之间。考察船从20日至22日沿北回归线东行的过程中,一直处在台风东侧一条主要云带中,相对应的地面图上为大范围的降雨区(图4)。我们在台风云雨带中的降水间歇时间作了连续几天的采样,观测点的位置如图中数字所示。气溶胶分布浓度值如表2所列,均为 $10^0 \sim 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,各元素含量与表1中相应元素含量也比较接近。在1986年11月至1987年2月的第二次航行中,也曾多次在台风雨带中采样,如1986年11月22日至24日,在菲律宾东侧洋面的台风雨带中采样,其值也均在 $10^0 \sim 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 范围内。同时我们还发现在台风涡旋区中气溶胶浓度的分布具有明显的不均匀性。如1986年12月

17日,在帕瓦岛以南的努美亚岛附近(165°E、15°S)有一台风正在发展,帕瓦岛正处在台风北侧的强辐合带上,但无雨。在此附近采集到气溶胶的浓度值高达 $140\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,采样期间,风速为 $8.1\text{m}/\text{s}$ 。之后,考察船转到台风中心南侧的一条雨带中,其浓度值仅为 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,采样期间风速为 $8.3\text{m}/\text{s}$ 。这表明围绕着台风涡旋区不同方位进行采样,获得了台风的干、湿螺旋气流带中不同的气溶胶浓度。同时由于这两次采样期间风速比较接近,由此可见,雨水对大气气溶胶的净化起了很大作用。

表2 台风雨带中的气溶胶浓度分布

日期	时间	经度	纬度	采样期间 风速(m/s)	总浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1985年 12月20日	17:00—05:00	157.5°E	21°N	7.5	10.1
12月21日	06:30—16:30	160°E	21°N	5.3	7.7
12月21日	18:00—04:00	164°E	21°N	4.4	8.2
12月22日	05:00—14:00	167.5°E	20.5°N	6.3	13.5
日期	元素含量( $\text{g}/\text{m}^3$ )				
	Na	I	Fe	Sc	Sb
1985年 12月20日	$3.9 \times 10^{-6}$	$4.87 \times 10^{-9}$	$3.03 \times 10^{-8}$	$5.94 \times 10^{-12}$	$11.0 \times 10^{-11}$
12月21日	$2.75 \times 10^{-6}$	$5.62 \times 10^{-9}$	$1.87 \times 10^{-8}$	$3.15 \times 10^{-12}$	$9.97 \times 10^{-11}$
12月21日	$2.26 \times 10^{-6}$	$5.76 \times 10^{-9}$	$2.44 \times 10^{-8}$	$3.8 \times 10^{-12}$	$7.17 \times 10^{-11}$
12月22日	$3.56 \times 10^{-6}$	$5.17 \times 10^{-9}$	$2.68 \times 10^{-8}$	$4.49 \times 10^{-12}$	$7.55 \times 10^{-11}$

上述两种天气型是我们在热带洋面考察中遇到最多,最主要的流场结构。例如在第二航次中,从1987年1月13日至2月15日,考察船在澳大利亚北部卡奔塔尼亚湾停留了一个月,这段时间该地区一直处在强的辐合带中,在此辐合带上,连续有三个台风生成,并且每次台风过程均使该地出现约一个星期左右的降雨天气。在港湾停留的过程中,所采集到的气溶胶浓度值均很低,约 $10^0 \sim 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间。当然,我们还遇到另外的一些流场结构,如在极锋尾部的辐合区中,采集到的气溶胶样品其值约 $30 \sim 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,平直的偏东气流也是热带洋面经常出现的流型,在这种流型下气溶胶的浓度值大约在 $40 \sim 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在洋面考察过程中,岛屿的影响还是十分清楚的,其中夏威夷岛的影响尤为显著,例如,在偏东气流条件下,在夏威夷岛西侧 $10^1 \sim 10^2 \text{km}$ 的范围内,浓度值均为 $70 \sim 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。但在更西部的大约 $165^\circ\text{E}$ 附近地区,即夏威夷以西约 $2000\text{km}$ 远的海域采集到的气溶胶浓度值约为 $30 \sim 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

综上所述,洋面大气气溶胶的分布不仅和气溶胶的性质和产生源地有关,它的分布状态与典型的热带天气的流型和降雨分布有着密切的关系,这将有助于进一步了解热带洋面大气的成份和结构。

**致谢:**本文所用气溶胶样品由郑月明等同志采集,杨绍晋等同志进行气溶胶化学元素及其含量的分析,苏立荣同志协助进行资料分析工作,一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] Parungo, F. P., C. F. Nagamoto and J. M. Harris, Temporal and spatial variations of marine aerosols over the Atlantic ocean. *Atmospheric Research*, **20**, 23—37, 1986.
- [2] Parungo, F. P., C. F. Nagamoto, A study of marine aerosols over the Pacific ocean, *Journal of Atmospheric Chemistry*, **4**, 199—226, 1986.
- [3] 朱翠娟, 叶卓佳等, 秋冬季节京、津、渤地区局地环流的特征及气溶胶分布规律, *环境科学学报*, **4**, 342—350, 1982.
- [4] Woodcock, A. H., Salt nuclei in marine air as a function of altitude and wind force, *Journal of Meteorology*, **10**, 362—371, 1953.

## A RELATIONSHIP BETWEEN THE DISTRIBUTION OF AEROSOLS AND THE TROPICAL CIRCULATION IN THE EQUATORIAL WESTERN PACIFIC

Zhu Cuijuan

(Academy of Meteorological Science, SMA)

Zhou Mingyu

(National Marine Environmental Forecasting Center, SOA)

### Abstract

A relationship between the distribution of aerosols and the tropical circulation under the different tropical circulation conditions during the TOGA experiment from 1985—1987 were studied. The concentration of aerosols has a value  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  or less in the tropical convergence zone due to the rain washout, and its distribution is independent on wind velocity. But, the concentration value under the rainless region in one order of magnitude larger than that under the rainfall zone.

The distribution of the aerosols is inhomogeneous in the hurricane circulation. The lower value ( $<10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) of the aerosols concentration emerges in the rainfall zone, and the higher value ( $>100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in the dry zone.